

(translation of the front page of the priority document of  
Japanese Patent Application No. 2000-213089)



PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy of the  
following application as filed with this Office.

Date of Application: July 13, 2000

Application Number : Patent Application 2000-213089

Applicant(s) : Canon Kabushiki Kaisha

May 30, 2001

Commissioner,  
Patent Office

Kouzo OIKAWA

Certification Number 2001-3046995

CFM 2217 VS



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

09/845,297  
Akihiro Nakachi  
May 1, 2001

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 7月13日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-213089

出 願 人

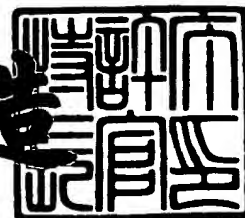
Applicant(s):

キヤノン株式会社

2001年 5月30日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3046995

【書類名】 特許願

【整理番号】 4005017

【提出日】 平成12年 7月13日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 27/18

【発明の名称】 投影露光装置

【請求項の数】 9

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

    【氏名】 佐藤 隆一

【特許出願人】

    【識別番号】 000001007

    【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

    【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

    【識別番号】 100065385

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 山下 穰平

    【電話番号】 03-3431-1831

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 010700

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9703871

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 投影露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 投影光学系の物平面に配した第 1 パターンを、所定の照明条件で照明し前記投影光学系によりその像平面に配した第 2 パターン上に結像し、

前記第 2 パターンを、前記投影光学系の光軸に交差する方向に走査したときに前記第 2 パターンを透過した光によって得られる光強度分布に基づいて前記投影光学系の光線収差及び／又は波面収差を測定することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2】 投影光学系の像平面に配した第 1 パターンを、所定の照明条件で照明し前記投影光学系によりその物平面に配した第 2 パターン上に結像し、

前記第 2 パターンを、前記投影光学系の光軸に交差する方向に走査したときに前記第 2 パターンを透過した光によって得られる光強度分布に基づいて前記投影光学系の光線収差及び／又は波面収差を測定することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 3】 前記走査方向は、前記光軸と直交する方向であることを特徴とする請求項 1、2 のいずれか一つに記載された投影露光装置。

【請求項 4】 前記投影光学系の一部を介して前記第 1 パターンを照明することを特徴とする請求項 2 記載の投影露光装置。

【請求項 5】 前記第 1 パターンは、前記投影光学系のアイソプラナティックな領域内の大きさであり、

前記第 1 パターンを通過した光束が前記投影光学系の瞳を十分に覆うことを特徴とする請求項 1、2 のいずれか一つに記載された投影露光装置。

【請求項 6】 前記光強度分布測定手段は、  
複数の受光単位からなり、

前記受光単位が補足する光束の断面積は、前記投影光学系の瞳上において瞳の面積より小さく、

前記受光単位的位置と前記瞳上位置とが 1 対 1 に対応し、

前記光束の断面積の合計が、前記瞳の面積を覆うことを特徴とする請求項 1、

2 のいずれか一つに記載された投影露光装置。

【請求項 7】 前記走査と同期して得られる各受光単位時間の光強度分布の相対的な位置ずれに基づいて前記結像性能を求めることを特徴とする請求項 1、2 のいずれか一つに記載された投影露光装置。

【請求項 8】 前記収差は、光線収差及び波面収差であることを特徴とする請求項 1、2 のいずれか一つに記載された投影露光装置。

【請求項 9】 請求項 1 乃至 8 のいずれか一つに記載された投影露光装置により、デバイスパターンでウエハを露光する工程と、該露光したウエハを現像する工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】

本発明は、マスク上のパターンを投影光学系を介して感光性の基板に転写する露光装置に関する。このような露光装置は、たとえば半導体素子を製造する際のリソグラフィ工程で使用される。

【0002】

【従来の技術】

半導体素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際にレチクルやフォトマスク等（以下、レチクルと総称する）に形成された回路パターン等を感光剤が塗布された半導体ウエハ等に転写する投影型露光装置が使用されている。この種の露光装置では、レチクル上のパターンを所定の倍率（縮小率）で正確にウエハ上に転写することが要求されており、この要求に応えるためには、結像性能のよい、収差を抑えた投影光学系を用いることが重要である。特に近年、半導体デバイスの一層の微細化要求により、光学系の通常の結像性能を超えるパターンを転写するケースが多くなってきており、この結果、転写するパターンは、光学系の収差に対して従来に比べて敏感になってきている。一方で、投影光学系に対しては露光面積を拡大し、開口数（NA）を高くすることが求められており、このため収差補正を一層困難にしている。

【0003】

こうした状況の中、露光装置に投影光学系を搭載した状態、すなわち実際に露光に使用する状態で、結像性能たとえば投影光学系の収差、中でも特に波面収差を計測したいとの要求が強くある。これにより、使用状態に則したより精密なレンズの調整や、収差の受けにくいデバイスの設計が可能となるためである。

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

このような要求に対し、従来、露光装置に搭載した状態での結像性能を求める手段としては、ナイフエッジやスリットなどで像の強度分布を測定するやり方がある。また、バーチャートなど特定の形状をしたパターンのコントラストを求めるやり方などが行われている。

【 0 0 0 5 】

しかし、ナイフエッジやスリットなどで像の強度分布を求める方法では、像の強度分布測定のス/N比が、半導体のリソグラフィーにおける投影光学系では、 $10^6$  以上程度は必要とされ、非常に難易度が高い。

【 0 0 0 6 】

又、バーチャートを用いてコントラストを求めるやりかたで、波面収差を求めるには、粗いピッチから解像限界を超えるピッチまで非常に多数のバーチャートのコントラストを求める必要があり、バーチャートの製作上、そして測定労力の点から実用的ではない。

【 0 0 0 7 】

又、これらの方法で、波面収差を求めることまでは行われていない。

【 0 0 0 8 】

又、波面収差を求める方法として干渉計を用いる方法があるが、これは投影光学系の製造段階での検査装置として用いられるのが一般的であり、露光装置に搭載するには技術的にもコスト的にも壁が厚く、実用には至っていない。というのも、干渉計による方法では、プリズム、ミラー、レンズなどからなる干渉計と、干渉計用のコヒーレンスの良い照明系とを、レチクルステージやウエハーステージの近傍に配置しなければならない。一般に、ウエハーステージやレチクルステージ近傍の空間は限られており、干渉計やその照明系の大きさも制約を受けるこ

とになる。また、発熱や振動などの面からも制約があり、実装上の難易度が高い。更に、近年の露光波長の短波長化により、露光波長領域における干渉計のためのコヒーレンスのよい光源は、存在しないか、非常に高額である。このため干渉計方式の収差測定装置を投影露光装置に搭載することは技術的にも、コスト的にも現実的なものがない。

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明は、投影露光装置上で投影光学系の結像性能、特に波面収差を計測する機能を備えた投影露光装置を提供することを課題としている。

【 0 0 1 0 】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するための請求項 1 に係る発明は、投影光学系の物平面に配した第 1 パターンを、所定の照明条件で照明し前記投影光学系によりその像平面に配した第 2 パターン上に結像し、前記第 2 パターンを、前記投影光学系の光軸に交差する方向に走査したときに前記第 2 パターンを透過した光によって得られる光強度分布に基づいて前記投影光学系の光線収差及び／又は波面収差を測定することを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

又、請求項 2 は、投影光学系の像平面に配した第 1 パターンを、所定の照明条件で照明し前記投影光学系によりその物平面に配した第 2 パターン上に結像し、前記第 2 パターンを、前記投影光学系の光軸に交差する方向に走査したときに前記第 2 パターンを透過した光によって得られる光強度分布に基づいて前記投影光学系の光線収差及び／又は波面収差を測定することを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

請求項 3 は、前記走査方向は、前記光軸と直交する方向であることを特徴とする請求項 1、2 のいずれか一つに記載された投影露光装置である。

【 0 0 1 3 】

請求項 4 は、前記投影光学系の一部を介して前記第 1 パターンを照明することを特徴とする請求項 2 記載の投影露光装置である。

【 0 0 1 4 】

請求項 5 は、前記第 1 パターンは、前記投影光学系のアイソプラナティックな領域内の大きさであり、前記第 1 パターンを通過した光束が前記投影光学系の瞳を十分に覆うことを特徴とする請求項 1、2 のいずれか一つに記載された投影露光装置である。

【0015】

請求項 6 は、前記光強度分布測定手段は、複数の受光単位からなり、前記受光単位が補足する光束の断面積は、前記投影光学系の瞳上において瞳の面積より小さく、

前記受光単位的位置と前記瞳上位置とが 1 対 1 に対応し、前記光束の断面積の合計が、前記瞳の面積を覆うことを特徴とする請求項 1、2 のいずれか一つに記載された投影露光装置である。

【0016】

請求項 7 は、前記走査と同期して得られる各受光単位時間の光強度分布の相対的な位置ずれに基づいて前記結像性能を求めることを特徴とする請求項 1、2 のいずれか一つに記載された投影露光装置である。

【0017】

請求項 8 は、前記収差は、光線収差及び波面収差であることを特徴とする請求項 1、2 のいずれか一つに記載された投影露光装置である。

【0018】

請求項 9 は、請求項 1 乃至 8 のいずれか一つに記載された投影露光装置により、デバイスパターンでウエハを露光する工程と、該露光したウエハを現像する工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法である。

【0019】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態の説明に先立って、本発明の原理について説明する。一般に、収差が無い理想的な投影光学系の場合、第 1 パターンとしての点物体からでた光束は結像点一点に収束するが、収差があると一点には収束しない。

【0020】

図 1 は、このような理想的な結像点 I P の近傍に第 2 パターンとしてのパター



ン 1 7 と、それを通過した光束の光強度分布測定を測定する光強度分布測定手段 1 8 を配置した図である。ここに、光線 A は理想的な結像点 I P からはずれている。投影光学系の光軸に垂直な平面でのパターン 1 7 は座標  $(u, v)$  で表し、光強度分布測定手段 1 8 の光強度測定面は座標  $(x, y)$  で表すものとする。また、光強度分布測定手段 1 8 の光強度測定面（受光面）上の位置は投影光学系の射出瞳上の位置と 1 対 1 の対応がとれる程度に広がりを持っているものとする。これは、例えば、光強度分布の検出装置 1 8 の強度測定面を、ある程度投影光学系の結像位置から光軸方向へ離すことによって実現できる。

## 【 0 0 2 1 】

図 2 では、光線 A が収差のため、理想結像位置 I P からずれ、パターン 1 7 の不透過部で遮られていることを示している。従って、この状態で、パターン 1 7 を通過した光束の光強度分布測定手段 1 8 の測定面上での光強度分布は、光線 A に対する部分が暗い分布となる。

## 【 0 0 2 2 】

図 2 は、このことを示した図である。図 2 で影の部分が光線 A およびその近傍の光線からなる光束に対応する部分である。 $I_0(u, v)$  はパターン 1 7 の位置が  $(u, v)$  の時の主光線に対応する部分の光強度を、 $I_a(u, v)$  はパターン 1 7 の位置が  $(u, v)$  の時の光線 A に対応する部分の光強度をそれぞれ表わす。

## 【 0 0 2 3 】

図 3 からわかるように光線 A の光線収差を  $(\varepsilon, \eta)$  とすると、パターン 1 7 を  $(\varepsilon, \eta)$  だけ移動すると、光線 A に対応する部分の光強度は、 $I_0(u, v)$  と等しい。すなわち

## 【 0 0 2 4 】

## 【数 1】

$$I_a'(u, v) = I_0'(u - \varepsilon, v - \eta)$$

従って、パターン 1 7 の位置  $(u, v)$  を移動させながら、光強度分布測定手段 1 8 の各点における光強度の変化をプロットすると、光線収差に相当する量だ

け位相のずれたパターンが得られる。この位相ずれ量を求めることによって、光線収差を決定できる。

#### 【0025】

図3(a)は、u軸に対するプロット図でu軸方向の光線収差量 $\varepsilon$ だけプロット図の位相がずれていることを示している。又、図3(b)は、v軸に対するプロット図で、v軸方向の光線収差量 $\eta$ だけプロット図の位相がずれていることを示している。ここで、光強度分布測定手段18の光強度測定面の各点(x, y)は、投影光学系の射出瞳と1対1に対応するようになっているから、光線収差( $\varepsilon$ ,  $\eta$ )は射出瞳上の点(x, y)を通過した光線の収差とみなすことができる。

#### 【0026】

以上、図7のマスク12のパターン11が点物体とみなせる場合について説明したが、パターン11が、投影光学系のアイソプラナティック領域より小さい物体であれば、点物体とみなせるほど微少なパターンである必要はない。アイソプラナティック領域は収差が等しいとみなせる領域だから、パターン11の各点からの同じ収差をもつ結像光束を重ねあわせたものが、パターン11の像となる。したがって、これをパターン17で走査して得られるプロット図は、前述のパターン11が点物体とみなせる場合のプロット図をパターン像11の大きさの分だけ重ねあわせたパターンとなる。

#### 【0027】

図4には、パターン17の一例として不透過基板に正方形の開口を設けた場合を示す。パターン17の開口は、長方形や円その他の形状であってもよい。

#### 【0028】

図5は、パターン11としてアイソプラナティック領域内の正方形開口とした場合の、結像点近傍の光束の様子を示したものである。A'は光線Aに対応する光束、P'は主光線に対応する光束である。アイソプラナティック領域であるから、両光束の断面は同じ大きさの正方形であり、光束A'は、光線Aの収差( $\varepsilon$ ,  $\eta$ )だけ、光束P'からずれたものである。ここで $I_0'$ (u, v)をパターン17の位置が(u, v)の時の主光線に対応する部分の光強度、および $I_a'$

( $u, v$ ) を光線 A に対応する部分の強度とすると、図からわかるように、

【0029】

【数 2】

$$I'_a(u, v) = I'_0(u - \varepsilon, v - \eta)$$

従って、パターン 17 の位置 ( $u, v$ ) を移動させながら、光強度分布測定手段 18 の光強度測定面の各点における光強度の変化をプロットすると、光線収差に相当する量だけ位相のずれたパターンがえられる。この位相ずれ量を求めることによって、光線収差を決定できる。ここで、パターン 17 は、図 4 に示した不透過基板に正方形の開口を設けた場合のパターンである。

【0030】

図 6 (a) は、 $u$  軸に対するプロット図で  $u$  軸方向の光線収差量  $\varepsilon$  だけプロット図の位相がずれていることを示している。図 6 (b) は、 $v$  軸に対するプロット図で、 $v$  軸方向の光線収差量  $\eta$  だけプロット図の位相がずれていることを示している。

【0031】

以上のようにして、パターン 11 がアイソプラナティック領域内のパターンであれば、点物体とみなせる場合と同じように、光線収差 ( $\varepsilon, \eta$ ) を求めることができる。

【0032】

さらに、波面収差  $\phi$  と光線収差 ( $\varepsilon, \eta$ ) の関係として、 $R'$  を結像光束が参照球面と交わる位置と結像面で交わる位置との光路長とすると、

【0033】

【数 3】

$$\varepsilon(x, y) = R' \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

$$\eta(x, y) = R' \frac{\partial \phi}{\partial y}$$

従って、この関係から波面収差  $\phi$  を求めることができる。

【 0 0 3 4 】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【 0 0 3 5 】

〔実施形態 1〕

図 7 に本発明の第 1 実施形態を示した。図 7 は、本実施形態に係わる投影光学系の結像性能を測定するためのパターン 1 1、パターン 1 7、光強度分布測定手段とを設けた投影露光装置の構成を示す。この露光装置によりデバイス回路パターンでウエハが露光され、その後、現像、エッチングを受ける。物体面すなわちマスク面 1 2 には、半導体ウエハ等のフォトリソグラフィ工程においては、レチクルに描かれた回路パターン等のマスクパターンが置かれる。パターン 1 1 すなわち第 1 パターン、及びパターン 1 7 すなわち第 2 パターンは、本発明の投影露光装置に用いる投影光学系の結像性能を測定するために用いるパターンである。

【 0 0 3 6 】

1. 6 は照明系で、この例では回路パターンの照明系と測定用パターンの照明系とを兼ねている。照明系 1 6 から出射した光束は、パターン 1 1 が形成されたマスク 1 2 を通過し、投影光学系 1 0 により、パターン 1 1 を結像する。この結像光束は、パターン 1 1 の結像位置近傍に配置されたパターン 1 7 を通過し、光強度分布測定手段 1 8 の測定面に到達し、ここで光強度分布が測定される。パターン 1 7 と、光強度分布測定手段 1 8 はウエハーステージ 1 4 上に設けてあり、パターン 1 1 の結像位置近傍に位置合わせされる。1 5 はウエハーステージの駆動装置、1 3 はウエハチャックである。1 9 はパターン 1 7 を光軸に垂直な面内で走査するためのアクチュエーターの制御装置、2 0 は光強度分布の信号処理装置である。

【 0 0 3 7 】

照明系 1 6 から出射する光束は、パターン 1 1 を通過した光束が投影光学系 1 0 の入射瞳を十分に覆うものであるとする。これは、例えば、照明系 1 6 を、その開口絞りを交換することにより、 $\sigma = 1$  の照明系とすることによって実現される。

## 【 0 0 3 8 】

パターン 1 1 は、投影光学系 1 0 のアイソプラナティック領域より小さい物体とする。半導体露光装置の投影系の場合、目安として画面サイズの数%以内がアイソプラナティック領域とみなされる。したがって、6" マスクを用いる半導体露光装置の場合、パターン 1 1 の大きさは、数ミリ以内が必要である。

## 【 0 0 3 9 】

図 8 は、パターン 1 1 として矩形開口を、マスク上に  $10 \times 10$  のマトリクス状に配置した例である。このように、パターン 1 1 を複数個配置し、それぞれの結像位置で結像性能を測定することにより、投影光学系 1 0 の複数像点での結像性能が計測できる。

## 【 0 0 4 0 】

図 9 は、パターン 1 7 と光強度分布測定手段 1 8 の部分を拡大図示したものである。パターン 1 7 と光強度分布測定手段 1 8 とは、それらを保持するウエハーステージ 1 4 によりパターン 1 7 がパターン 1 1 の結像位置近傍に位置合わせされる。また、光強度分布測定手段 1 8 の光強度測定面（受光面）上の位置は投影光学系の射出瞳上の位置と 1 対 1 の対応がとれる程度に広がりのある位置に配置される。これは、例えば、光強度分布の検出装置 1 8 の光強度測定面を、ある程度投影光学系の結像位置から光軸方向へ離すことによって実現できる。あるいは、瞳結像光学系を介することによっても実現できる。光強度検出装置 1 8 は、例えば、2 次元固体撮像素子を用い各画素を受光単位とすることによって、個々の受光単位が補足する光束の断面積の合計が前記投影光学系の瞳上において瞳の面積を十分に覆うように構成される。

## 【 0 0 4 1 】

このような状態で、パターン 1 7 は、アクチュエータ 3 1 により光軸に垂直な平面に沿って走査する。この時の、パターン 1 7 の各位置に対する光強度分布測定手段 1 8 の各受光単位（画素）の光強度の変化を光強度分布として信号処理装置 2 0 により検出することで、光線収差 ( $\varepsilon(x, y)$ ,  $\eta(x, y)$ ) が得られる。ただし、 $(x, y)$  は、光強度分布測定手段 1 8 の測定面上の位置座標であり、かつ投影光学系の射出瞳面の座標でもある。さらに、このようにして得ら

れた光線収差から、前述の関係式、すなわち、図 1 5 の式 (1)、式 (2) に基づいて信号処理装置 2 0 により、波面収差  $\phi(x, y)$  が求められる。

【0 0 4 2】

一般に、 $R'$  は、収差に依存する量であり、式 (1)、(2) より波面収差を求めるには複雑な処理を必要とする。

【0 0 4 3】

以下、式 (1)、(2) により波面収差  $\phi$  を求めるための実用的な例を記す。

【0 0 4 4】

図 1 0 は、投影光学系の射出瞳、結像面、光強度分布測定面における波面と、光線の関係の説明するための図である。ここに、 $XYZ$  は、投影光学系 1 0 の射出瞳の中心を原点、光軸方向を  $Z$  軸とする座標系である。又、 $W$  は、パターン 1 1 から出射し投影光学系 1 0 により形成される結像光束の波面で、射出瞳の中心を通る波面である。又、 $G$  は、参照球面である。又、 $A$  は、投影光学系 1 0 の結像面である。又、 $B$  は、光強度分布測定手段 1 8 の強度分布測定面である。又、 $O_1$  は、投影光学系 1 0 の射出瞳の中心である。又、 $O_2$  は、参照球面の中心である。

【0 0 4 5】

更に、

$P_1$  : 第 1 パターン 1 1 の結像光束が射出瞳面と交わる点。

【0 0 4 6】

$P_2$  : 第 1 パターン 1 1 の結像光束が結像面  $A$  と交わる点。

【0 0 4 7】

$P_3$  : 第 1 パターン 1 1 の結像光束が光強度分布測定手段 1 8 の強度分布測定面  $B$  と交わる点。

【0 0 4 8】

$Q_0$  : 第 1 パターン 1 1 の結像光束の最大  $NA$  光束が参照球面と交わる点。

【0 0 4 9】

$Q_1$  : 第 1 パターン 1 1 の結像光束が波面  $W$  と交わる点。

【0 0 5 0】

$Q_2$  : 第 1 パターン 1 1 の結像光束が参照球面と交わる点。

【 0 0 5 1 】

$Q_3$  : 直線  $Q_2 O_2$  が強度分布測定面 B と交わる点。これは、無収差の場合第 1 パターン 1 1 の結像光束が強度分布測定面 B と交わる点となる。

【 0 0 5 2 】

$Q_4$  : 直線  $Q_0 O_2$  が強度分布測定面 B と交わる点。これは、無収差の場合、第 1 パターン 1 1 の最外結像光束が強度分布測定面 B と交わる点となる。

【 0 0 5 3 】

R : 参照球面の半径

【 0 0 5 4 】

$R'$  : 距離  $Q_2 P_2$

L : 距離  $Q_2 Q_3$

$L'$  : 距離  $Q_2 P_3$

$\phi$  : 投影光学系 1 0 の波面収差 ( 光路長  $Q_1 Q_2$  )

(  $\varepsilon$ ,  $\eta$  ) : 光線収差 ( 線分  $O_2 P_2$  )

(  $\alpha$ ,  $\beta$  ) : 強度分布測定面 B での光線収差 ( 線分  $Q_3 P_3$  )

$H_0$  : 投影光学系 1 0 の射出瞳最大半径

$NA_0$  : 投影光学系 1 0 の射出瞳最大半径に対応する開口数  $NA_0 = H_0 / R$

【 0 0 5 5 】

x y 座標 : 投影光学系 1 0 の射出瞳最大半径で規格化した X Y 座標

【 0 0 5 6 】

$$X = H_0 \cdot x, Y = H_0 \cdot y$$

$H'_0$  : 投影光学系 1 0 の射出瞳から無収差ででた全光束が強度分布測定面で交わる領域の最大半径

【 0 0 5 7 】

$$H'_0 : NA_0 \cdot (L - R)$$

とする。

【 0 0 5 8 】

この時、前述の波面収差と光線収差の関係から、

【0059】

【数4】

$$\varepsilon = R' \frac{\partial \phi}{\partial X} = R \left( 1 + \frac{\Delta R}{R} \right) \frac{\partial \phi}{\partial X}$$

$$\eta = R' \frac{\partial \phi}{\partial Y} = R \left( 1 + \frac{\Delta R}{R} \right) \frac{\partial \phi}{\partial Y}$$

ただし  $\Delta R = R' - R$ 

$$\alpha = L' \frac{\partial \phi}{\partial X} = L \left( 1 + \frac{\Delta L}{L} \right) \frac{\partial \phi}{\partial X}$$

$$\beta = L' \frac{\partial \phi}{\partial Y} = L \left( 1 + \frac{\Delta L}{L} \right) \frac{\partial \phi}{\partial Y}$$

ただし  $\Delta L = L' - L$ 

上式を瞳の最大半径  $H_0$  で規格化した座標で表わすと、図16の式(3)、式(4)、式(5)、式(6)のようになる。

【0060】

又、第1パターン11の結像光束が参照球面と交わる点  $Q_2$  と、強度分布測定面Bと交わる点  $P_3$  との関係を求める。第1パターン11の結像光束が参照球面と交わる点  $Q_2$  ( $X, Y$ ) から無収差で光束が出た場合に光束が強度分布測定面Bと交わる点を  $Q_3$  ( $X', Y'$ ) また、第1パターン11の結像光束が強度分布測定面Bと交わる点を  $P_3$  ( $X'', Y''$ ) とすると、無収差の位置から収差の分だけずれているから、図17の式(7)、式(8)が成り立つ。

【0061】

第1パターン11の結像光束が参照球面と交わる点  $Q_2$  ( $X, Y$ ) から無収差で光束が出た場合に光束が強度分布測定面Bと交わる点を  $Q_3$  ( $X', Y'$ ) とすると、図10の規格化座標との関係から、図17の式(9)、式(10)が成り立つ。

【0062】

従って、式(7)、(8)、(9)、(10)から、



【0063】

【数5】

$$\frac{X''}{H_0'} = \frac{X'}{H_0'} + \frac{\alpha}{H_0'} = x + \frac{\alpha}{H_0'}$$

$$\frac{Y''}{H_0'} = \frac{Y'}{H_0'} + \frac{\beta}{H_0'} = y + \frac{\beta}{H_0'}$$

従って、第1パターン11の結像光束が参照球面と交わる点 $Q_2$  ( $x$ ,  $y$ )、強度分布測定面Bと交わる点 $P_3$  ( $X''$ ,  $Y''$ )との関係として、図17の式(11)、式(12)が得られる。

【0064】

以上の関係(3)、(4)、(5)、(6)、(11)、(12)より、図18の式(13)、式(14)、式(15)、式(16)が成り立つ領域において、波面収差と光線収差との関係は、規格化座標( $x$ ,  $y$ )で、図18の式(3')、式(4')によって表すことができる。

【0065】

また、第1パターン11の結像光束が参照球面と交わる点 $Q_2$ の規格化座標( $x$ ,  $y$ )と、強度分布測定面Bと交わる点を $P_3$  ( $X''$ ,  $Y''$ )との関係は、図18の式(11')、式(12')で表される。

【0066】

上式(9)、(10)、(11')、(12')において、 $NA_0$  及び  $H_0'$  は収差に存在しない固定値であるから、通常の数値積分によって波面収差を求めることができる。

【0067】

半導体露光装置の投影光学系の場合、通常

【0068】

【数 6】

$$\frac{\Delta R}{R}, \quad \frac{\Delta L}{L} \text{ は、 } 10^{-6} \text{ 以下}$$

$$\text{また、 } \frac{\alpha}{H'_0} = \frac{1}{H'_0} \cdot \frac{L}{R} \cdot \epsilon,$$

$$\frac{\beta}{H'_0} = \frac{1}{H'_0} \cdot \frac{L}{R} \cdot \eta \text{ は、}$$

$10^{-5}$  以下

とすることができるから、式 (9), (10), (11'), (12') により、波面収差を求めることは、十分に実用的である。

【0069】

〔実施形態 2〕

本発明の第 2 実施形態を図 11 を用いて説明する。本実施形態は、レチクルの回路パターン 11 の結像面上に第 1 パターン 11 を配置し、この第 1 パターン 11 を所定の照明条件で照明し、前記投影光学系を介してレチクル側に形成される前記第 1 パターンの結像位置近傍に第 2 パターン 17 を配置した場合である。第 1 パターン 11 はウエハーステージ 14 上に配置され、やはりウエハーステージ 14 上に構成された第 2 照明系 21 で照明される。第 2 照明系 21 は光源として、例えばファイバー型のライトガイドなどによる引き回し系 22 を介して第 1 照明系 16 から導かれる光を用いる。第 1 パターン 11 及び第 2 照明系 21 は、ウエハーステージ 14 により第 1 パターン 11 がレチクルパターン 11 の結像面上に来るように収差を測定する位置へ移動する。第 1 パターン 11 から発した光束は投影光学系 10 により、レチクル側へ結像される。この結像光束はミラー 23 により折り曲げられ、それによってできる結像位置近傍に第 2 パターン 17 を配置した構成である。その他、図中の番号は、図 1 と同じものを示している。

【0070】

図 12 は、図 11 の第 2 照明系 21 の例である。ファイバー型のライトガイドによる引き回し系 22 により第 1 照明系 16 から導かれた光束がファイバー型の

ライトガイド端 4 1 から発し、集光レンズ 4 2 により投影光学系 1 0 に対して  $\sigma$  1 以上の光束に発散するように、第 1 パターン 1 1 を照明するようにしたものである。

#### 【 0 0 7 1 】

##### 〔実施形態 3〕

図 1 3 は本発明による第 3 実施形態である。本実施形態は、第 2 照明系が投影光学 1 0 を介して第 1 2 パターンを照明する場合である。第 1 パターン 1 1 はウエハーステージ 1 4 上に構成されており、ウエハーステージ 1 4 によりレチクルのパターンの結像面上の収差を測定するための位置へ、位置合わせされる。

#### 【 0 0 7 2 】

第 2 照明系は照明系 1 6 を兼用し、光学系 1 0 を介して、第 1 パターン 1 1 と共役な部分が透過するマスク 1 2 と半透光性のミラー 2 4、そして投影光学系 1 0 を介して第 1 パターンを照明する。ここで、マスク 1 2 はなくともよい。第 1 パターン 1 1 で散乱反射された光束は投影光学系 1 0 によりレチクル側に結像する。この結像光束を半透過性のミラー 2 4 により反射して光路を折り曲げられ、それによってできる結像位置近傍に第 2 パターン 1 7 を配置した構成である。その他、図中の番号は、図 1 と同じものを示している。

#### 【 0 0 7 3 】

##### 〔実施形態 4〕

図 1 4 は本発明による第 4 の実施形態である。本実施形態は、第 2 照明系が投影光学系を介して第 1 ターンを照明する場合で、第 2 光源として第 1 光源とは別のを配したものである。第 1 パターン 1 1 はウエハーステージ 1 4 上に構成されており、ウエハーステージ 1 4 によりレチクルパターンの結像面上の収差を測定するための位置へ、位置合わせされる。

#### 【 0 0 7 4 】

第 2 照明系 2 5 は、第 1 パターン 1 1 と共役な部分が透過するマスク 1 2 と半透光性のミラー 2 4、そして投影光学系 1 0 を介して第 1 パターン 1 1 を照明する。ここで、マスク 1 2 はなくともよい。第 1 パターンで散乱反射された光束は投影光学系 1 0 によりマスク側に結像する。この結像光束を半透過性にミラー 2

4により折り曲げられ、それによってできる結像位置近傍に第2パターン17を配置した構成である。その他、図中の番号は、図1と同じものを示している。以上説明した実施形態1～4の各投影露光装置は、投影光学系10を構成する複数の光学素子のうち複数のレンズが光軸方向及び／又は光軸直交方向へ移動可能に指示してあり、不図示の収差調節用の駆動系により、前述の方法と装置を用いて得た波面収差情報にもとづいて、一つ又は複数のレンズを動かすことにより、光学系10の一種または複数值の収差（とくにザイデルの5収差）を補正したり、最適化できる。また、光学系10の収差を調整する手段としては、可動レンズ以外に、可動ミラー（光学系がカタディオプトリック系のとき）や、傾動できる平行平板や、圧力制御可能な空間などさまざまな公知の系を用いるものが適用できる。

## 【0075】

次に、以上説明した投影露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法の実施例を説明する。

## 【0076】

図19は、半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、あるいは液晶パネルやCCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ステップ1（回路設計）では、半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ3（ウエハ製造）では、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は、前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

## 【0077】

図 2 0 は、図 1 9 のステップ 4 のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ 1 1（酸化）では、ウエハの表面を酸化させる。ステップ 1 2（CVD）では、ウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ 1 3（電極形成）では、ウエハ上に電極を蒸着等によって形成する。ステップ 1 4（イオン打ち込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ 1 5（レジスト処理）ではウエハに感光材を塗布する。ステップ 1 6（露光）では、上記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに露光する。ステップ 1 7（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ 1 8（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ 1 9（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【 0 0 7 8 】

本実施例の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高精度の半導体デバイスを製造することができる。

【 0 0 7 9 】

【発明の効果】

以上説明した本発明によれば、実際に露光に使用する状態での投影光学系の波面収差の測定が実現され、投影光学系のより精密な調整や、収差の影響を受けにくいデバイスの設計が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

理想結像点 I P の近傍にひとつのパターンを配置し、このパターンを通過する光束の強度分布を測定する光強度分布測定手段を備えた本発明の投影露光装置の概念図

【図 2】

収差がある場合の光強度分布を示す図

【図 3】

収差がある場合の光強度分布に基づいて光線収差を決定する過程を説明するための図

【図 4】

負透過板に正方形の開口を設けて正方形開口光強度分布測定手段 1 8 の光強度測定面における光強度分布を示す図

【図 5】

アイソプラナティック領域内に正方形開口を配置した場合の理想結像点 I P 近傍の孔即を示す図

【図 6】

光線収差 ( $\xi$ 、 $\eta$ ) を求める過程を説明するための図

【図 7】

第 1 照明系と第 2 照明系とを共用する本発明の投影露光装置

【図 8】

第 2 パターンが矩形開口をマトリクス配置である場合を説明するための図

【図 9】

D A I 3 パターンと光強度測定手段の関係を示す断面図

【図 1 0】

投影光学系の出射瞳、結像面、光強度分布測定面における波面と光線と関係の説明するための図

【図 1 1】

第 1 結像面上に第 1 パターンを配置した本発明の投影露光装置の概念図

【図 1 2】

図 1 1 の本発明の投影露光装置に用いる第 2 照明系の概念図

【図 1 3】

投影光学系を第 2 照明系として用いる本発明の投影露光装置の概念図

【図 1 4】

投影光学系を介して第 1 パターンを照明するための第 2 照明系を備えた本発明の投影露光装置の概念図

【図 1 5】

数式 (1)、数式 (2) を示す図

【図 1 6】

数式 ( 3 ) 乃至数式 ( 6 ) を示す図

【図 1 7】

数式 ( 7 ) 乃至数式 ( 1 2 ) を示す図

【図 1 8】

数式 ( 1 3 ) 乃至数式 ( 1 6 ) 、及び数式 ( 3 ' ) 、数式 ( 4 ' ) 、数式 ( 1 1 ' ) 、数式 ( 1 2 ' ) を示す図

【図 1 9】

半導体デバイス製造工程のフローチャート

【図 2 0】

ウエハプロセスのフローチャート

【符号の説明】

- 1 0 投影光学系
- 1 1 第 2 パターン
- 1 2 マスク
- 1 3 ウエハーチャック
- 1 4 ウエハーステージ
- 1 5 ウエハーステージ駆動装置
- 1 6 照明系
- 1 7 第 2 パターン
- 1 8 光強度分布測定手段
- 1 9 第 2 パターンを光軸に水平な面内で走査するためのアクチュエーターの  
制御装置
- 2 0 光強度分布の信号処理装置
- 2 1 第 2 照明系
- 2 2 引き回し光学系
- 2 3 折り返しミラー
- 2 4 半透過性の折り返しミラー
- 3 1 第 2 パターンを光軸に水平な面内で走査するためのアクチュエーター
- 4 1 ライトガイドの出射端

## 4 2 集光レンズ

A 収差がある場合の光線

A' アイソプラナティック領域内の物体から出た光束

A X 投影光学系 1 0 の光軸

I P 理想結像点

X Y Z 投影光学系 1 0 の射出瞳の中心を原点、光軸方向を Z 軸とする座標系

W 第 1 パターン 1 1 から出射し投影光学系 1 0 により形成される結像光束の波面で、射出瞳の中心をとるもの

G 参照球面

A 投影光学系 1 0 の結像面

B 光強度分布測定手段 1 8 の強度分布測定面

O<sub>1</sub> 投影光学系 1 0 の射出瞳の中心

O<sub>2</sub> : 参照球面の中心

P<sub>1</sub> : 第 1 パターン 1 1 の結像光束が射出瞳面と交わる点

P<sub>2</sub> : 第 1 パターン 1 1 の結像光束が結像面 A と交わる点

P<sub>3</sub> : 第 1 パターン 1 1 の結像光束が光強度分布測定手段 1 8 の強度分布測定面 B と交わる点

Q<sub>0</sub> : 第 1 パターン 1 1 の結像光束の最大 N A 光束が参照球面と交わる点

Q<sub>1</sub> : 第 1 パターン 1 1 の結像光束が波面 W と交わる点

Q<sub>2</sub> : 第 1 パターン 1 1 の結像光束が参照球面と交わる点

Q<sub>3</sub> : 直線 Q<sub>2</sub> O<sub>2</sub> が強度分布測定面 B と交わる点。これは、無収差の場合第 1 パターン 1 1 の結像光束が強度分布測定面 B と交わる点となる

Q<sub>4</sub> : 直線 Q<sub>0</sub> O<sub>2</sub> が強度分布測定面 B と交わる点。これは、無収差の場合第 1 パターン 1 1 の最外結像光束が強度分布測定面 B と交わる点となる

R : 参照球面の半径

R' : 距離 Q<sub>2</sub> P<sub>2</sub>

L : 距離 Q<sub>2</sub> Q<sub>3</sub>

L' : 距離 Q<sub>2</sub> P<sub>3</sub>

φ : 投影光学系 1 0 の波面収差 (光路長 Q<sub>1</sub> Q<sub>2</sub>)



$(\varepsilon, \eta)$  : 光線収差 (線分  $O_2 P_2$ )

$(\alpha, \beta)$  : 強度分布測定面 B での光線収差 (線分  $Q_3 P_3$ )

$H_0$  : 投影光学系 1 0 の射出瞳最大半径

$NA_0$  : 投影光学系 1 0 の射出瞳最大半径に対応する開口数。  $NA_0 = H_0 / R$

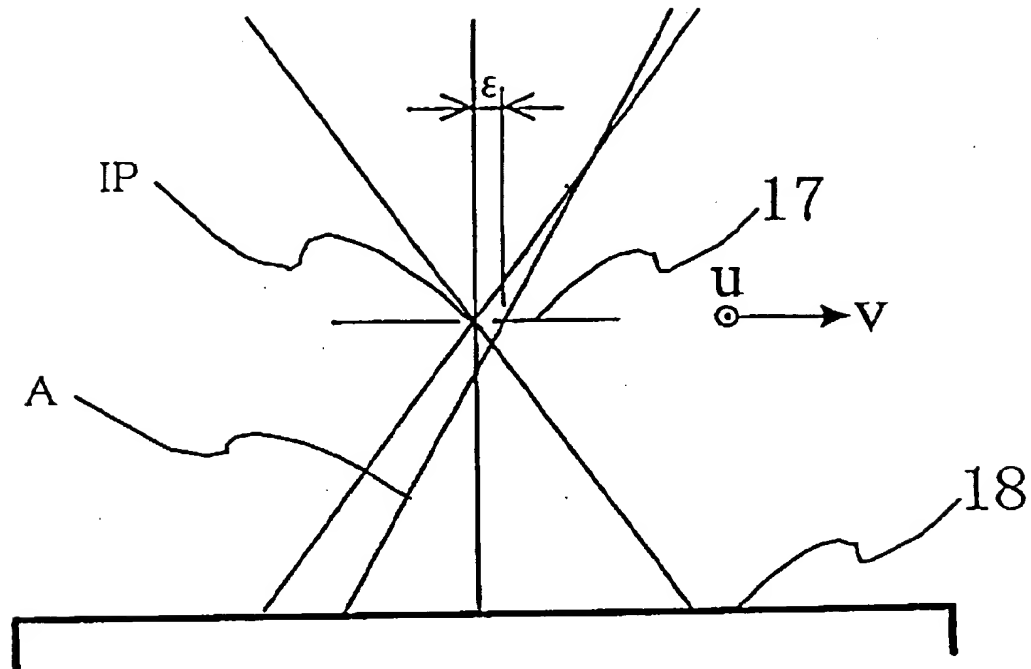
$x, y$  座標 : 投影光学系 1 0 の射出瞳最大半径で規格化した  $X, Y$  座標

$$X = H_0 \cdot x, Y = H_0 \cdot y$$

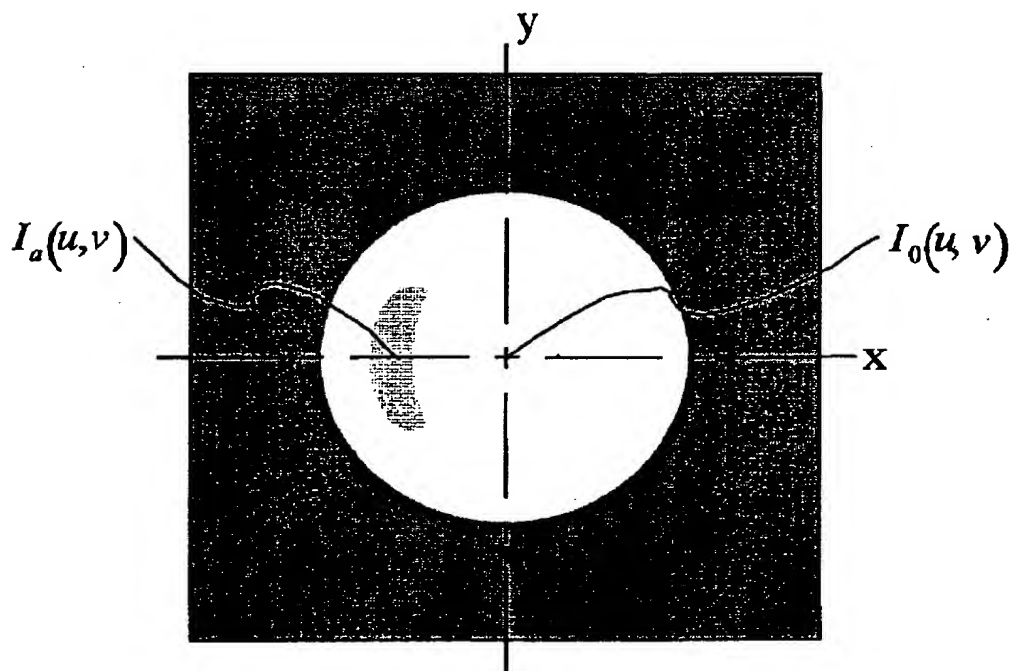
$H'_0$  : 投影光学系 1 0 の射出瞳から無収差ででた全光束が強度分布測定面で交わる領域の最大半径。  $H'_0 : NA_0 \cdot (L - R)$

【書類名】 図面

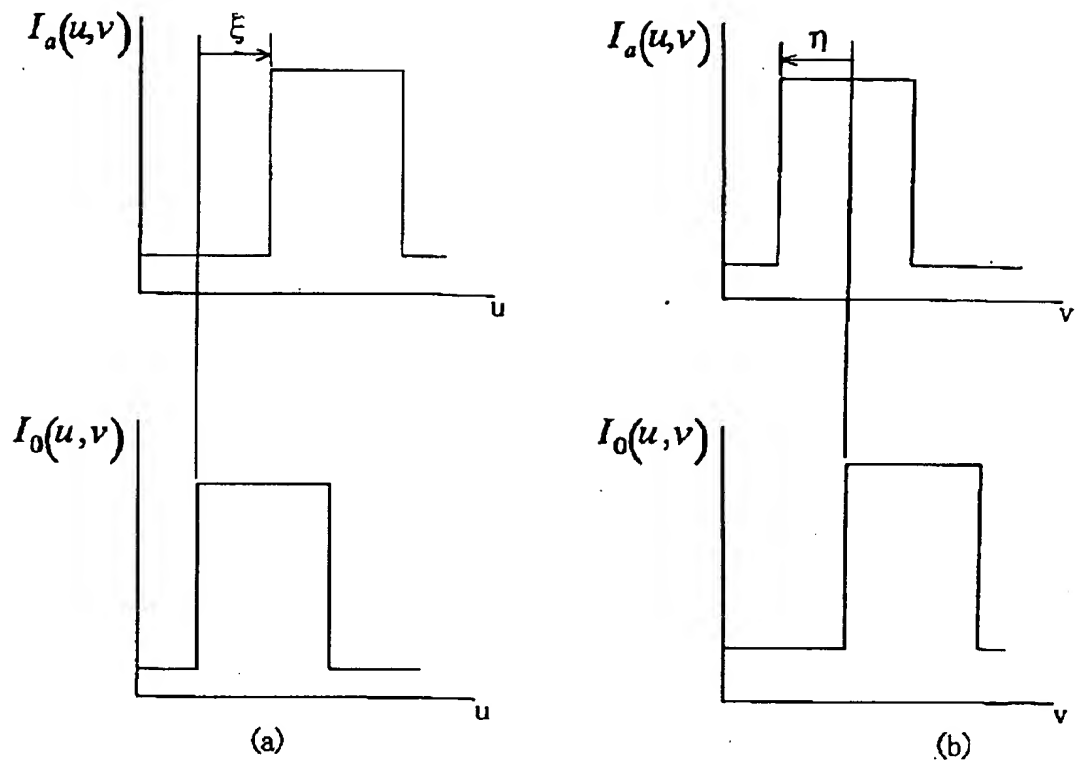
【図 1】



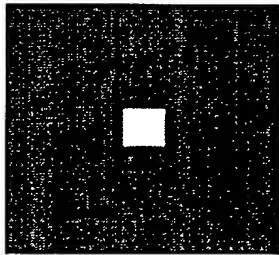
【図 2】



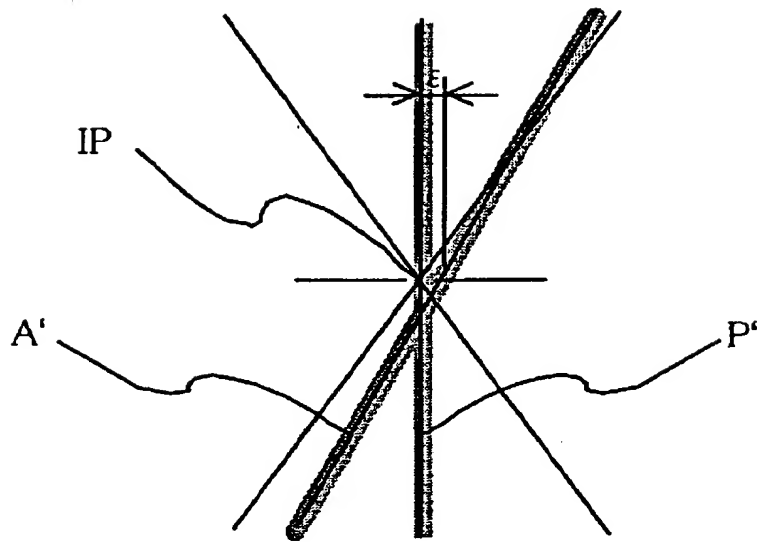
【図 3】



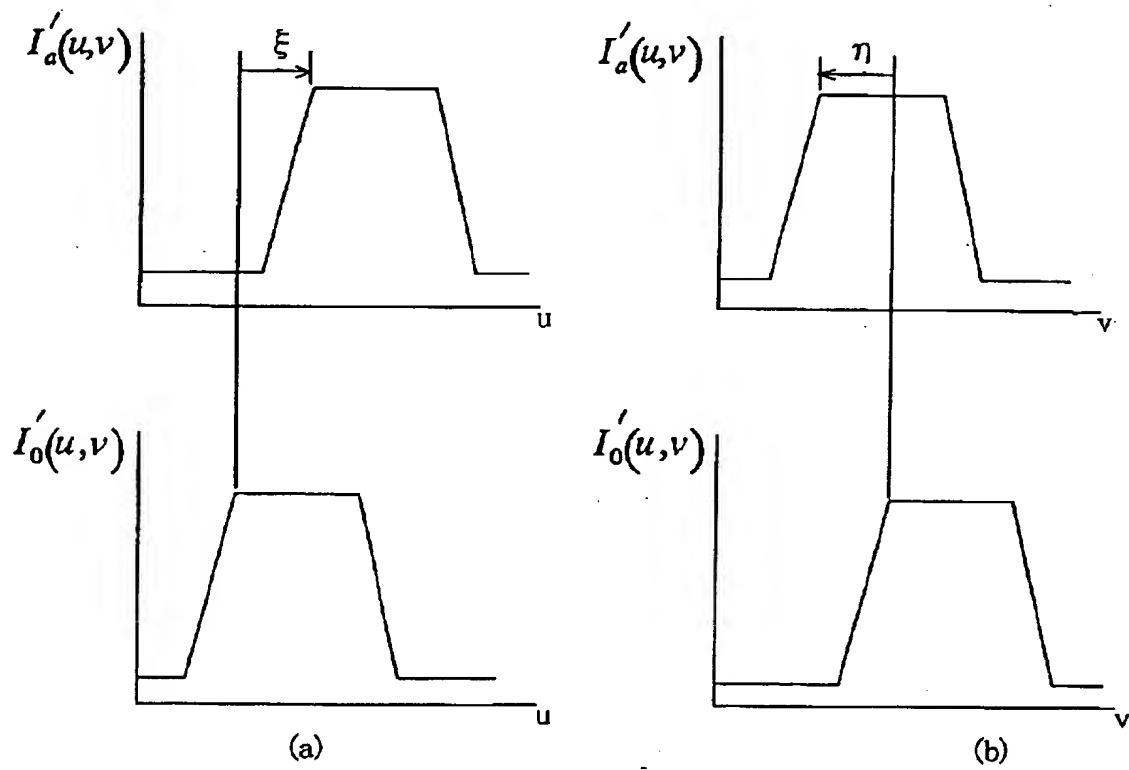
【図 4】



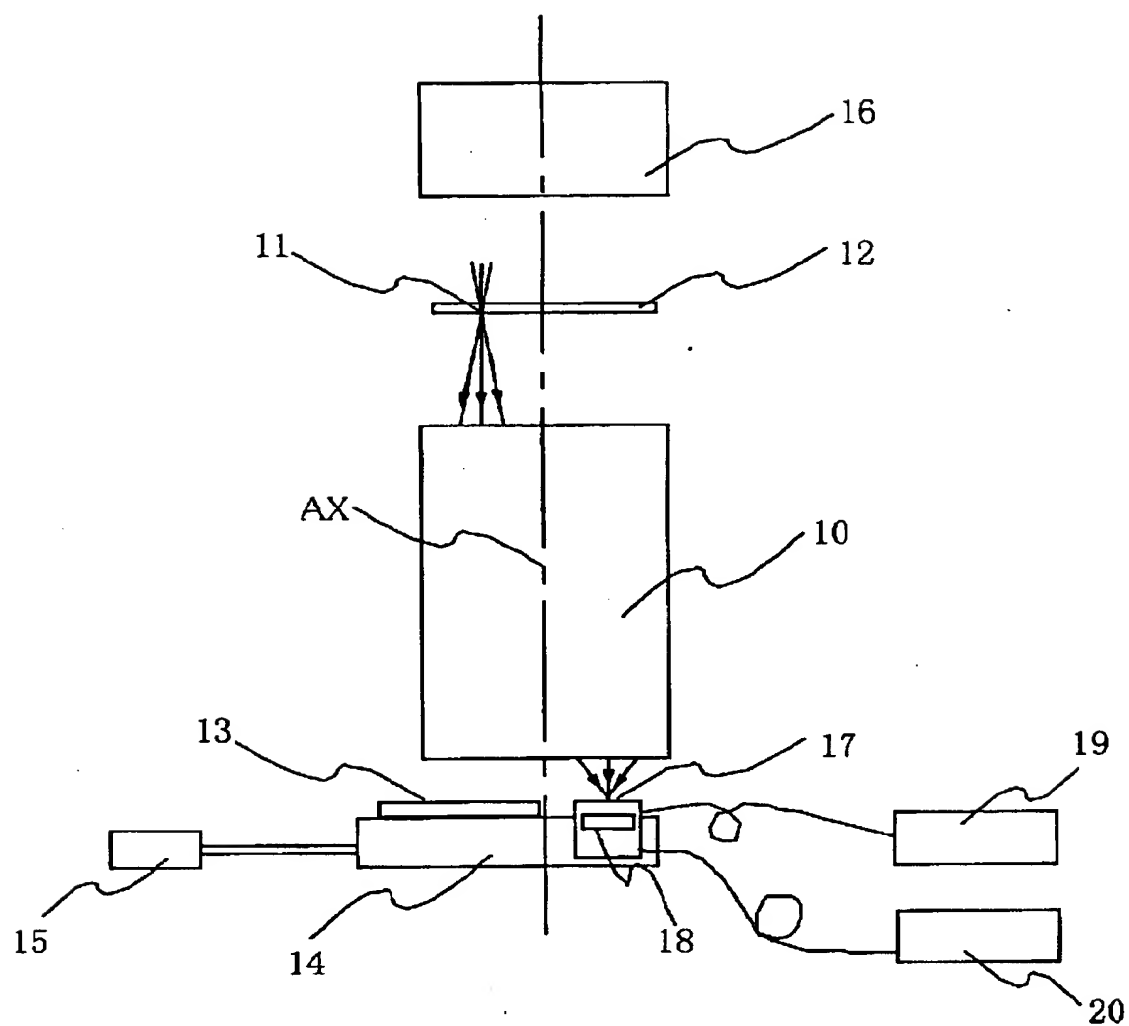
【図 5】



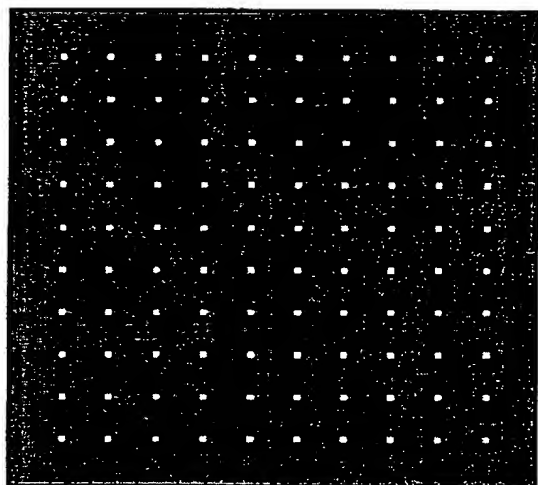
【図 6】



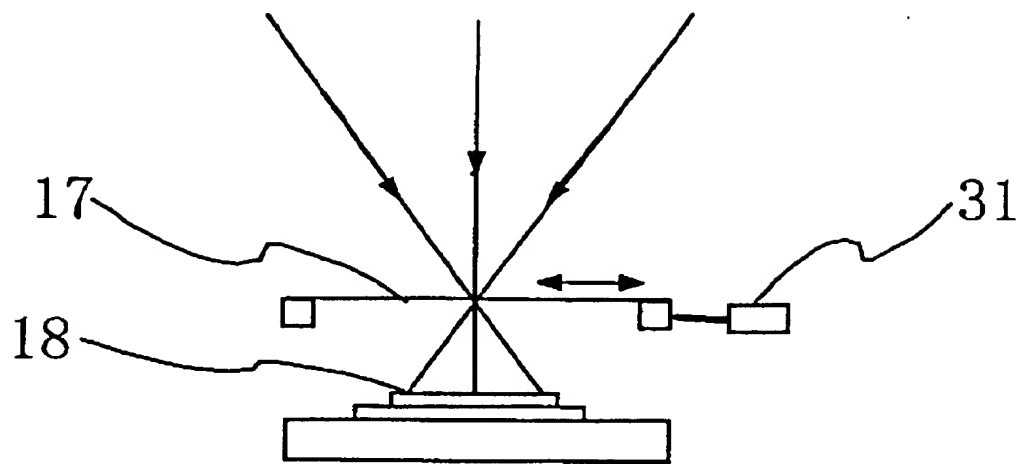
【図 7】



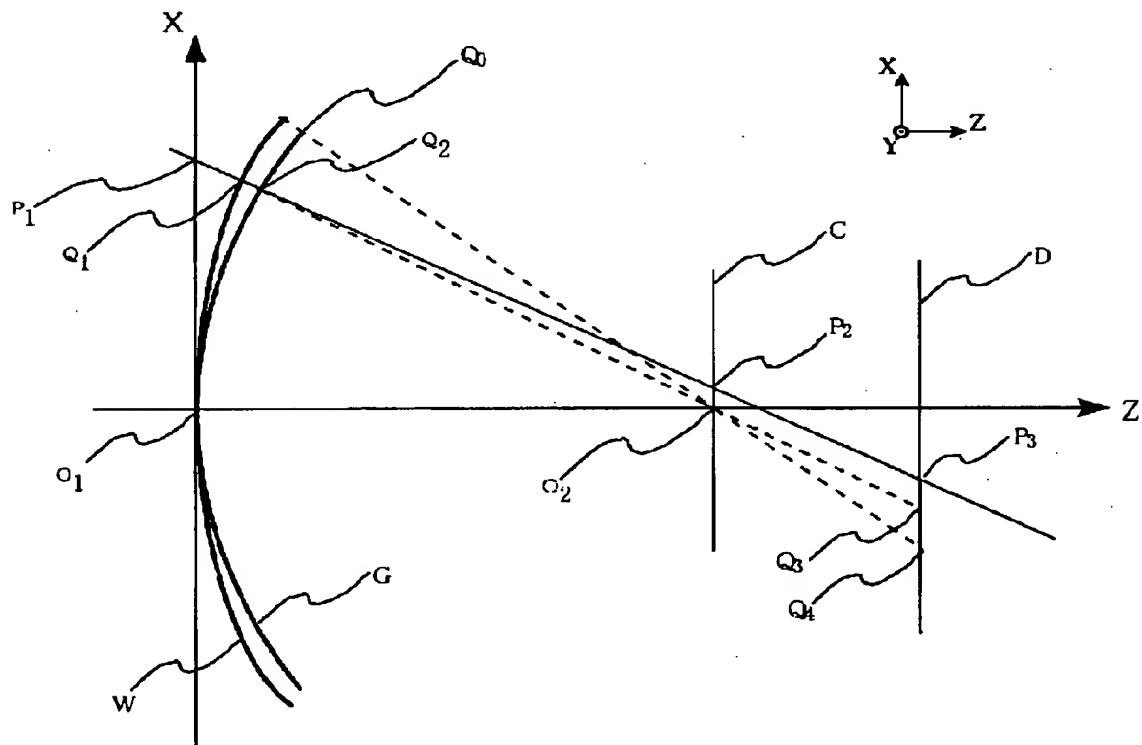
【図 8】



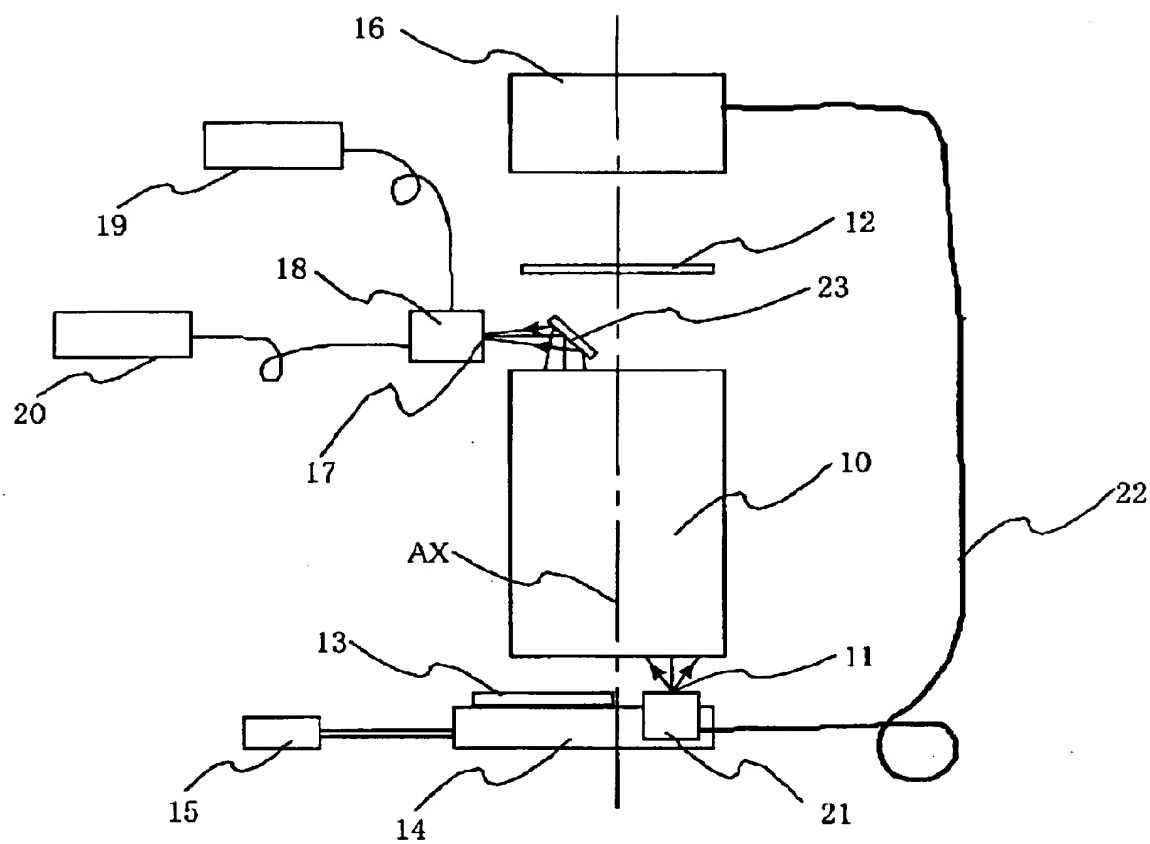
【図9】



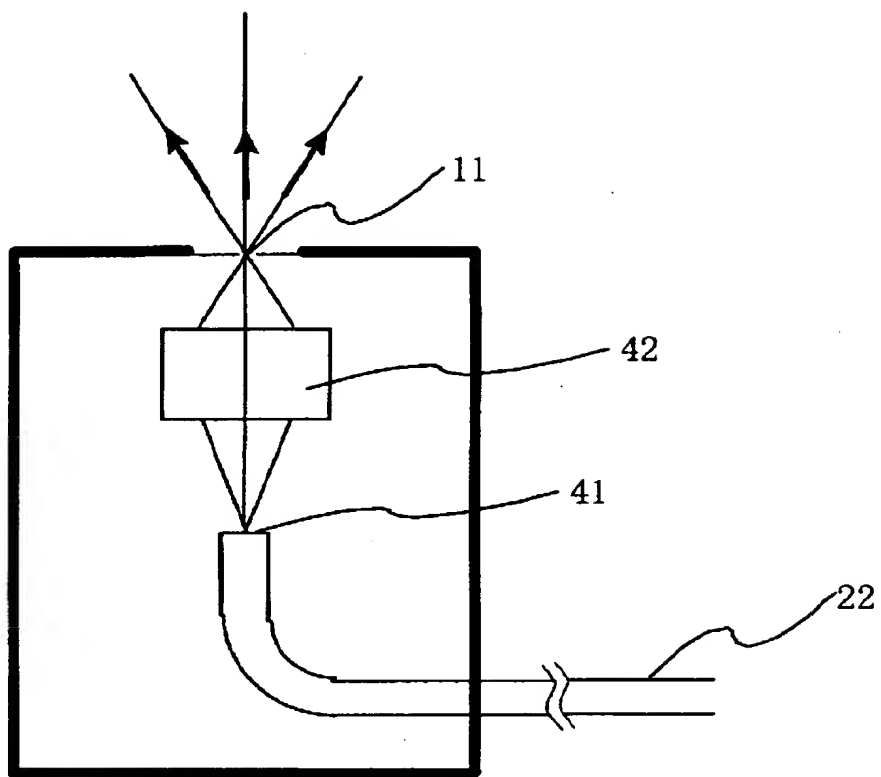
【図10】



【図 11】

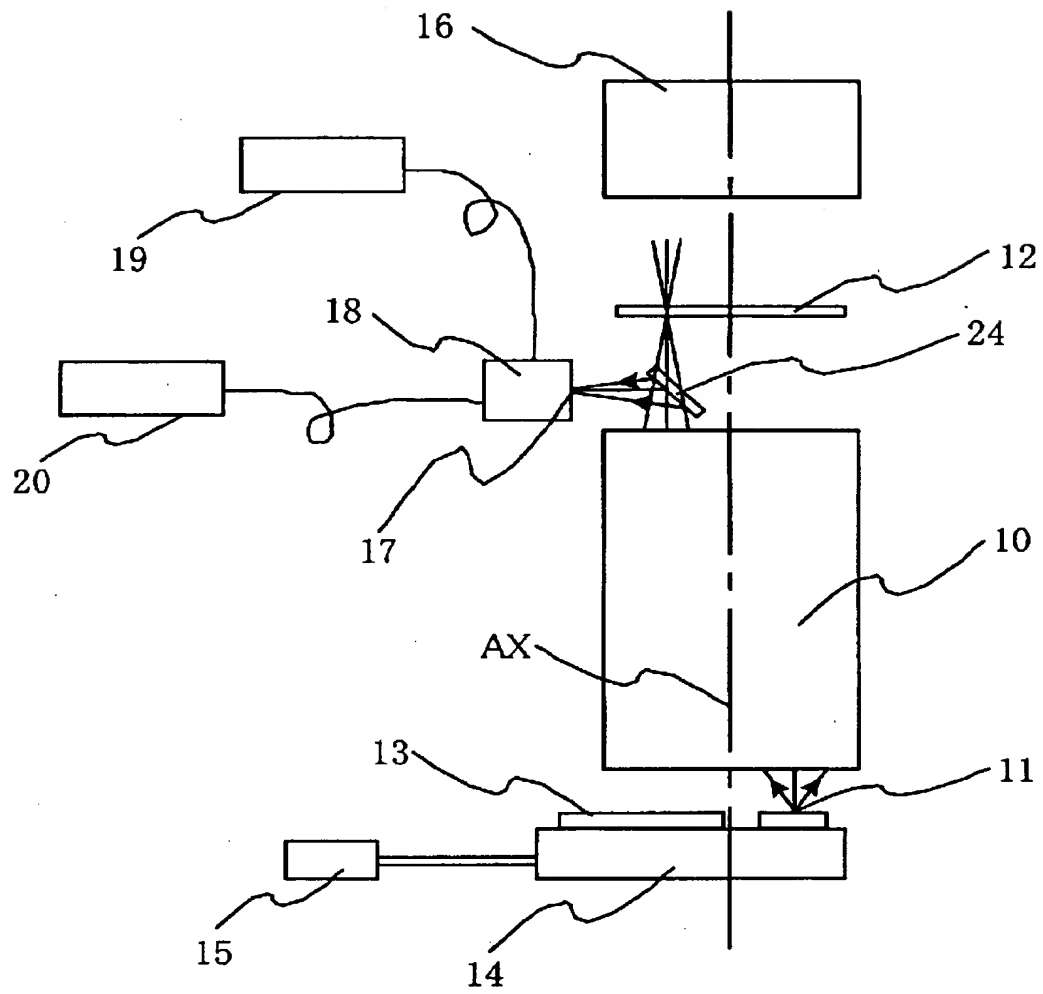


【図 1 2】

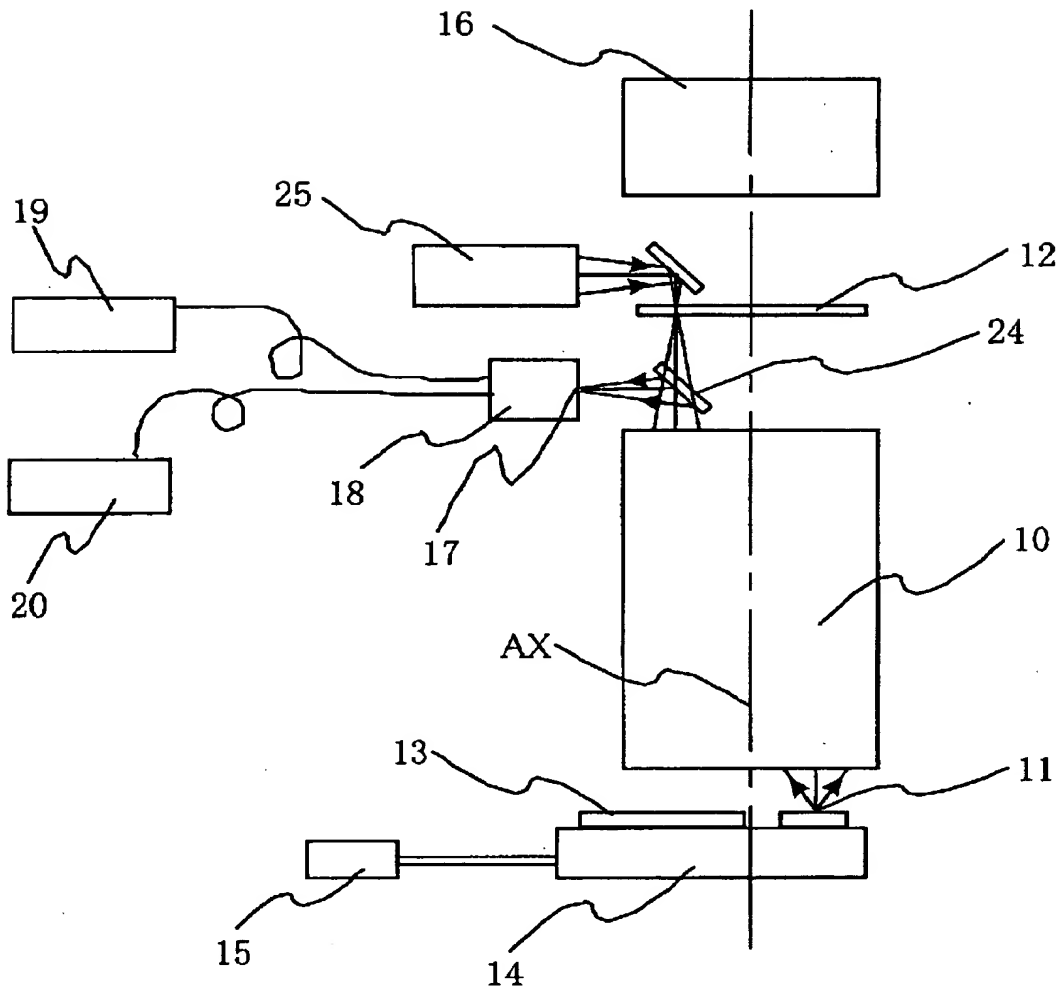




【図 13】



【図 1 4】



【図 1 5】

$$\varepsilon(x, y) = R' \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \dots \quad (1)$$

$$\eta(x, y) = R' \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad \dots \quad (2)$$

【図16】

$$\varepsilon = \left(1 + \frac{\Delta R}{R}\right) \cdot \frac{R}{H_0} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x} = \left(1 + \frac{\Delta R}{R}\right) \cdot \frac{1}{NA_0} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x} \dots \dots \dots (3)$$

$$\eta = \left(1 + \frac{\Delta R}{R}\right) \cdot \frac{R}{H_0} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial y} = \left(1 + \frac{\Delta R}{R}\right) \cdot \frac{1}{NA_0} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial y} \dots \dots \dots (4)$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{\Delta L}{L}\right) \cdot \frac{L}{R} \cdot \frac{R}{H_0} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x} = \left(1 + \frac{\Delta L}{L}\right) \cdot \frac{L}{R} \cdot \frac{1}{NA_0} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{L \left(1 + \frac{\Delta L}{L}\right)}{R \left(1 + \frac{\Delta R}{R}\right)} \cdot \varepsilon \dots \dots \dots (5)$$

$$\beta = \left(1 + \frac{\Delta L}{L}\right) \cdot \frac{L}{R} \cdot \frac{R}{H_0} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial y} = \left(1 + \frac{\Delta L}{L}\right) \cdot \frac{L}{R} \cdot \frac{1}{NA_0} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{L \left(1 + \frac{\Delta L}{L}\right)}{R \left(1 + \frac{\Delta R}{R}\right)} \cdot \eta \dots \dots \dots (6)$$

【図 1 7】

$$X'' = X' + \alpha \quad \cdots \cdots \cdots (7)$$

$$Y'' = Y' + \beta \quad \cdots \cdots \cdots (8)$$

$$\frac{X}{H_0} = \frac{X'}{H_0'} = x \quad \cdots \cdots \cdots (9)$$

$$\frac{Y}{H_0} = \frac{Y'}{H_0'} = y \quad \cdots \cdots \cdots (10)$$

$$x = \frac{X''}{H_0'} - \frac{\alpha}{H_0'} \quad \cdots \cdots \cdots (11)$$

$$y = \frac{Y''}{H_0'} - \frac{\beta}{H_0'} \quad \cdots \cdots \cdots (12)$$

【図 1 8】

$$\frac{\Delta R}{R} \ll 1 \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{\Delta L}{L} \ll 1 \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\frac{\alpha}{H'_0} = \frac{1}{H'_0} \cdot \frac{L}{R} \cdot \varepsilon \ll 1 \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\frac{\beta}{H'_0} = \frac{1}{H'_0} \cdot \frac{L}{R} \cdot \eta \ll 1 \quad \dots\dots\dots (16)$$

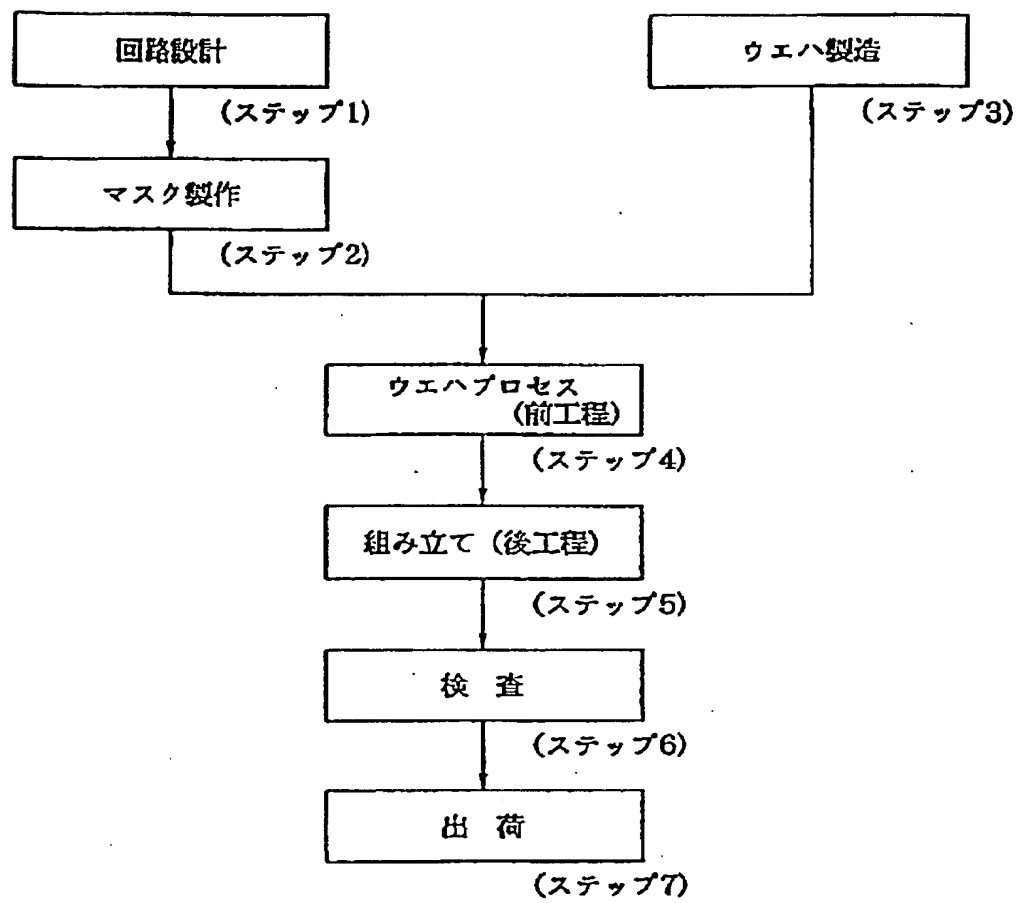
$$\varepsilon(x, y) = \frac{1}{NA_0} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (3')$$

$$\eta(x, y) = \frac{1}{NA_0} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad \dots\dots\dots (4')$$

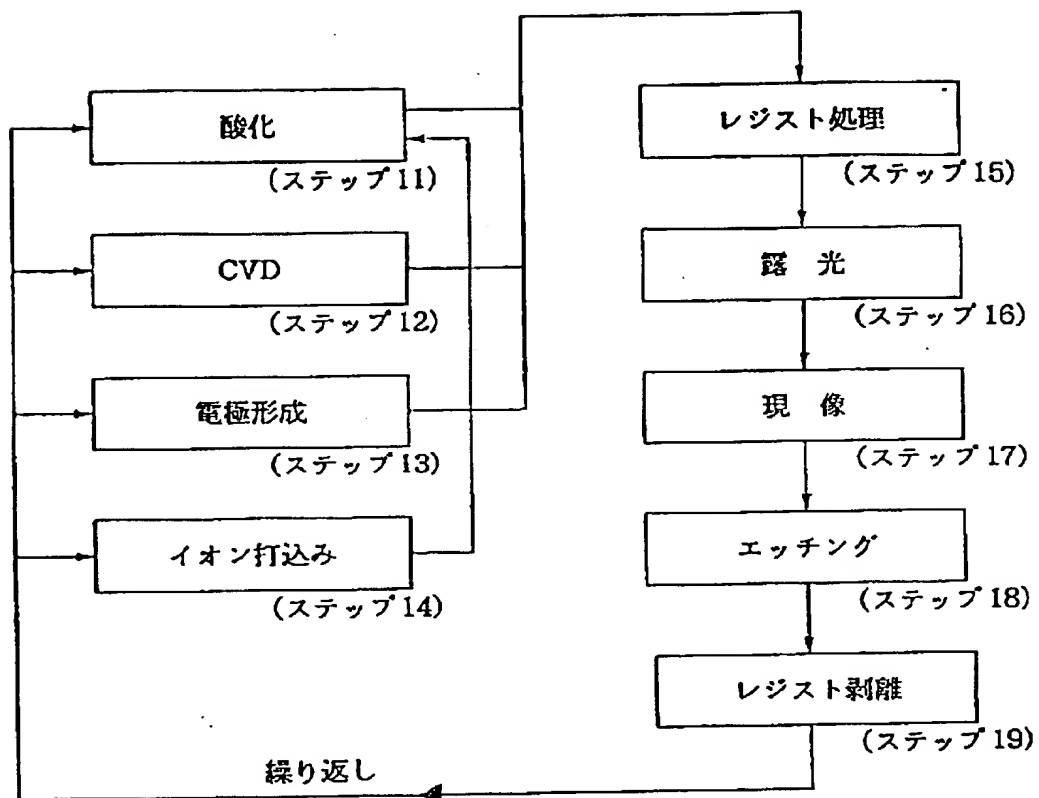
$$x = \frac{X''}{H_0} \quad \dots\dots\dots (11')$$

$$y = \frac{Y''}{H_0} \quad \dots\dots\dots (12')$$

【図19】



【図 2 0】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 実際に露光する状態で投影光学系の波面収差を測定する。

【解決手段】 第 1 パターン 1 1 がウェハースステージ 1 4 上に配置され、ウェハースステージ 1 4 内の第 2 照明系 2 1 で照明される。第 2 照明系 2 1 は光源として、ライトガイド 2 2 等を介して照明系 1 6 から導かれる光を用いる。第 1 パターン 1 1 及び第 2 照明系 2 1 は、ウェハースステージ 1 4 により第 1 パターン 1 1 がマスクパターンの結像面位置に来るように収差を測定する位置へ位置決めされ、第 1 パターン位置 1 1 からの光束は投影光学系 1 0 により、レチクル 1 2 側へ投影される。この投影された光束はミラー 2 3 により折り曲げられ、それによってできる結像位置近傍に配置した第 2 パターン 1 7 上に第一パターン 1 1 の像を結び、この第 2 パターン 1 7 を光軸直交方向に走査したときの第 2 パターン 1 7 を通過した光の強度分布を測定し、その結果から投影光学系の収差を計算する。

【選択図】 図 1 1



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
氏 名 キヤノン株式会社